

Variazioni meteomarine recenti e climatologia dinamica nel bacino adriatico: primi risultati

Massimiliano Fazzini^{1,2}, Carlo Bisci¹, Marco Cardinaletti³, Andrea Giuliacci⁴

¹Università di Camerino – Scuola di Scienze e Tecnologie, Via Gentile III da Varano - 62032 Camerino
email: massimiliano.fazzini@unicam.it

²Università di Ferrara – Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Via Saragat, 1 – 44123 Ferrara

³Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, via Brecce Bianche, 60131 Ancona

⁴Centro Epon Meteo – 20090 Segrate

Riassunto

Le variazioni recenti del livello del mare sono un indicatore chiave del cambiamento climatico in atto e costituiscono uno dei più importanti aspetti scientifici, con grande impatto potenziale positivo per la società. Nel quinto rapporto di *assessment* del clima globale (AR5) dell'IPCC risulta evidente l'importanza dei record strumentali per l'analisi delle variazioni recenti del livello del mare. L'intenso riscaldamento globale registrato durante gli ultimi decenni ha concausato un forte scioglimento dei ghiacci continentali alle latitudini polari e, conseguentemente, un innalzamento del livello medio marino quantificabile in 1.2 – 2.0 mm/anno. Nel Mar Mediterraneo, tale valore è significativamente più basso di circa il 35% rispetto al valore medio globale. Nel bacino adriatico, e in particolare nel suo settore settentrionale, il segnale dipende però in maniera significativa da fenomeni di subsidenza e da altre variabili antropogeniche, responsabili di estesi fenomeni di eustasia.

Obiettivo principale di questo studio preliminare è quello di analizzare le serie di dati meteomarini relativi a nove stazioni di misurazione appartenenti alla Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA, situate tra Trieste e Taranto, in modo da verificare le tendenze medie a livello del mare e identificare gli eventi più significativi di mareggiata che si sono verificati a partire dal 2010 e dal 1995 per la stazione di misura di Ancona. Allo stesso tempo, sono state individuate e analizzate le situazioni sinottiche responsabili di questi intensi eventi per ogni settore del bacino. Dall'analisi complessiva del segnale, risulta probabile una maggiore persistenza di condizioni anticicloniche, alternata a una altrettanto maggiore frequenza di ciclogenesi, in quasi tutti i mesi dell'anno nel bacino Adriatico settentrionale o sull'alto Tirreno, molto probabilmente derivanti dall'aumento delle temperature della superficie del mare (SST) stimabile, nel periodo oggetto dello studio, intorno a 0.8°C.

Parole chiave: cambiamento climatico, innalzamento del livello medio mare, Mare Adriatico, ciclogenesi, mareggiate

Abstract

Recent sea level variations are a key indicator of global climate change. Estimating sea-level rise is one of the most important scientific issues, with potentially high positive social impact. The Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) underlines the importance of instrumental records to analyse recent sea-level changes.

The relatively intense warming recorded throughout the past 40 years (with widespread ice melting and relative glacial-hydro-isostatic rearrangement) has however induced global sea level rise of around 1.2-2.0 mm/yr. In the Mediterranean Sea, this value is approximately 35% lower than the global mean value. This is due to the Northern Atlantic Oscillation (NAO), inducing evident increase in atmospheric pressure and temperature, as well as of salinity variation at Adriatic latitudes, also taking into account the specific features of this almost enclosed shallow sea.

However, relative sea level rise (RSLR) occurred along the entire shoreline of the Northern Adriatic Sea, locally interfering with land subsidence (natural and man-induced) and eustasy. Their combined effect has produced relative ground settlements ranging from centimetres to meters.

The aims of this study is to analyse the historic series of oceanographic records at 12 measuring stations that belong to the National Tidal Network organized by ISPRA (located between Trieste and Otranto) in order to verify trends in sea level variations and to identify the most significant storm events that occurred from 2010 to 2015. The synoptic situations responsible for these intense events at each basin sector have also been analysed. Persistence of subtropical high pressure conditions alternated with higher frequency of cyclogenesis have been detected for almost every month on the northern Adriatic basin as well as in the medium and high Tyrrhenian; this is most likely due to the increase in sea surface temperatures of circa 0.8°C in the past fifteen years.

Key words: climate change, mean sea level rise, Adriatic Sea, cyclogenesis, storm surges

Introduzione

Non considerando le componenti idro-glacio-isostatiche e tettoniche, responsabili della maggiore percentuale dell'innalzamento indiretto del livello medio marino negli ultimi 2000 anni (Antonioli et al 2011), e soffermando l'attenzione sulla componente antropogenetica *ss*, risulta evidente che l'aumento della temperatura registrato nel sistema combinato terra-oceano-atmosfera, e più in particolare negli oceani, abbia determinato una significativa espansione termica e, relativamente alle terre emerse, un fenomeno di riduzione dell'estensione e degli spessori degli apparati glaciali continentali (*inlandsis*) presenti alle latitudini polari dei due emisferi. Negli ultimi due secoli - da quando cioè sono disponibili misure strumentali e, successivamente, dati satellitari - il livello medio del mare mostra una risalita media complessiva di circa 1.0-1.5 mm/anno. Scendendo nel dettaglio, la media mondiale delle misure mareografiche (centinaia di stazioni in tutto il mondo, alle quali è stata sottratta la componente isostatica) e satellitari mostra un valore medio recente di 1.8 mm/anno (Bonaduce et al., 2016; Pinardi et al., 2014; Church et al., 2013).

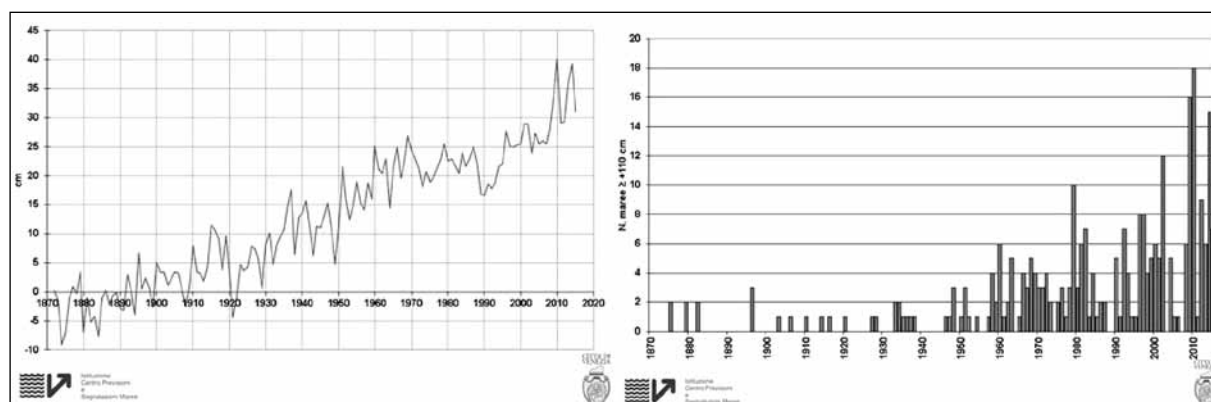


Figura 1. Raffronto per il periodo 1875 – 2010 tra le variazioni del livello medio del mare, a sinistra, e il numero di eventi di forte sollevamento del livello del mare (almeno 110 cm), a destra. Da: Città di Venezia, Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Grafici e Statistiche – www.comune.venezia.it/archivio/2966.

Nel bacino Mediterraneo, la complessa fisiografia e la presenza di condizioni meteo-climatologiche del tutto particolari, nonché il bilancio idrogeologico negativo (dal mare evapora più acqua di quanta ne arriva dai fiumi) contribuiscono a determinare un sollevamento del livello medio marino superiore di almeno il 50% rispetto a quello globale. Alle dinamiche sopra esposte vanno poi aggiunte, come evidenziato in precedenza, le componenti locali. Il Mediterraneo è un'area tettonicamente attiva: lungo le coste italiane i movimenti sollevamento o abbassamento tettonico hanno tassi negativi di circa 1 mm/anno, o positivi limitatamente ai settori più settentrionali del bacino Adriatico, dove pure è intenso il fenomeno della subsidenza antropica, specie nell'area compresa tra il litorale ravennate e la laguna di Venezia (Simeoni et al., 2003; Carbognin et al., 2014).

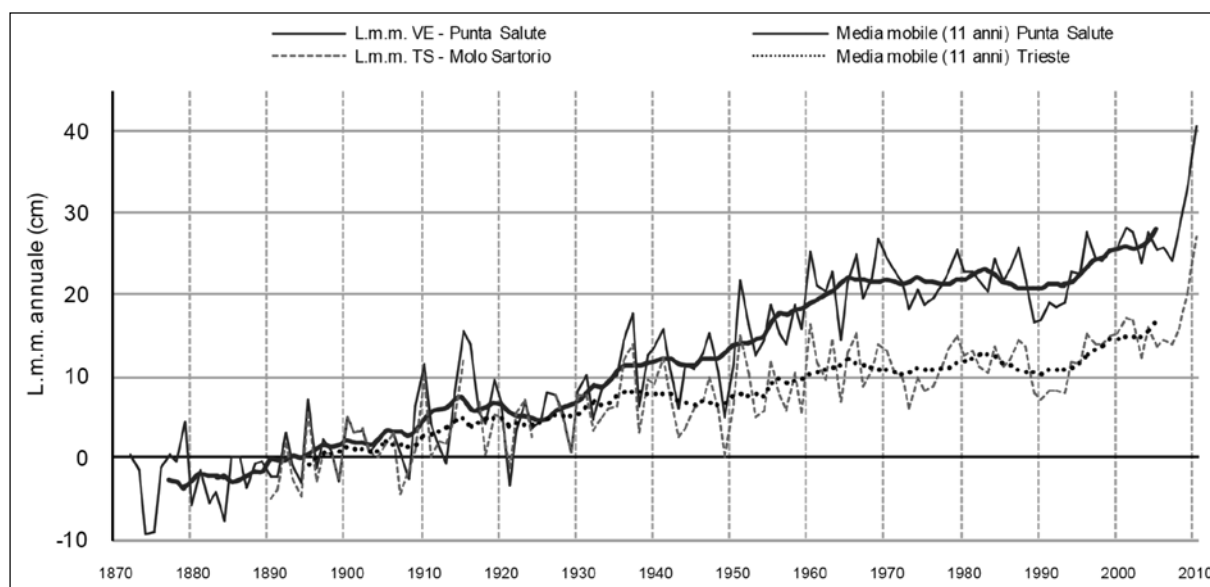


Figura 2. Valori medi annuali del livello medio mare rilevati a Venezia – Punta Salute e Trieste – molo Sartorio. Da: Cordella e Crosato, 2012.

Considerando, ad esempio, il segnale mareografico di Venezia - Punta Salute, si osserva che nell'intero periodo 1872-2005, il tasso medio di crescita relativa del livello medio del mare (LMM) è stimabile in 2.5 ± 0.2 mm/anno, con un intervallo di confidenza di 0.94, pari a un totale di oltre 31 cm (Ferla *et al.*, 2007; Masina e Lamberti, 2013). È poi evidente e significativa la relazione esistente tra frequenza degli eventi di acqua alta con LMM > 110 cm e innalzamento del LMM $R^2 = 0.87$ (Cordella e Crosato, 2012; Fig. 1).

Se si paragona la variazione del LMM di Punta Salute con quella di Trieste - Molo Sartorio (Fig. 2) si osserva che, nel medesimo periodo, in quest'ultima stazione di misura esso è molto inferiore (circa 1.3 ± 0.2 cm/anno, con un intervallo di confidenza di 0.82, pari a oltre 19 cm) nonostante che relativamente al periodo 1992 – 2006 l'incremento del LMM sia stato di 4.5 ± 2.7 mm/anno seppure con un intervallo di confidenza di 0.62, statisticamente non significativo (Masina e Lamberti, 2013).

Disponendo quindi di serie storiche - certamente non definibili "climatologiche", visto che non sono temporalmente estese per almeno 30 anni (WMO, 2012) ma pur sempre estese temporalmente per quindici anni, oltre che caratterizzate da omogeneità e mancanza di lacune temporali significative – si è ritenuto possibile e opportuno effettuare una prima analisi dei dati relativi alle variazioni dell'altezza idrometrica.

Dati utilizzati e metodologie di studio

L'area oggetto di studio si identifica con la porzione di costa adriatica compresa tra il golfo di Muggia a Nord ed il capo d'Otranto a Sud (Fig. 3), con uno sviluppo complessivo di oltre 1400 km, approssimativamente tra 40° e 46° di latitudine Nord. I dati utilizzati per l'analisi partono dal 2000 e si estendono sino al 2015; per la stazione meteo marina di Ancona, esclusivamente per evidenziare gli eventi di *storm surge* significativi (identificati con un LMM > 0.5 m) è stato considerato il ventennio 1996-2015.

Per tutte le stazioni della rete mareografica nazionale (RMN) utilizzate, dal Gennaio 2010 il parametro di livello idrometrico pubblicato viene monitorato con un nuovo sensore di livello a microonde (radar) con precisione millimetrica. Il sensore radar è installato in coppia con un secondo sensore di livello a galleggiante basato su tecnologia *shaft-encoder* (con la funzione di *back-up*); è inoltre mantenuto in funzione il sensore idrometrico storico ad "ultrasuoni" presente nella RMN dal 1998.

Dal confronto delle misure di questi tre sensori, di cui quello ad ultrasuoni usato come verifica, si è in grado di ottenere una precisa taratura del sensore radar tale da garantire una perfetta continuità delle serie dati di livello e di conseguenza la sua omogeneità (ISPRA, sito web). I dati disponibili sono stati

analizzati con passo temporale orario, relativamente al LMM, e giornaliero per ciò che concerne le temperature medie dell'aria e dell'acqua. Sono stati in seguito calcolati i valori medi mensili del tre parametri oggetto dello studio. In questo lavoro vengono presentati i risultati preliminari relativi al primo parametro (ovvero il livello medio del mare, evidenziando che in tale lasso temporale, le temperature medie dell'aria sono aumentate di circa 0.7°C e quelle della superficie del mare di circa 0.8°C).

A completamento della ricerca, si presenta un'analisi preliminare delle situazioni sinottiche responsabili dei fenomeni di mareggiata aventi magnitudine significativa. A tal proposito sono state utilizzate le re-analisi GFS, disponendo di dati in formato GRID relativamente ai campi di pressione al livello del mare e ai livelli geopotenziali a 500 hPa. Ad essi è stata applicata una *cluster analysis* di tipo *k-means* che ha portato alla definizione di situazioni caratteristiche per l'intero bacino.

Analisi critica del dato

Il risultato medio dell'analisi del dato quindicennale oggetto dello studio risulta essere piuttosto allineato con quello relativo al primo decennio del XXI secolo, relativo a tutti i bacini che contornano la penisola italiana e ben correlato in maniera inversa con l'andamento barometrico medio registrato (Fig. 4).

L'innalzamento medio del livello medio del mare si attesta su valori abbastanza elevati, mediamente di 0.75 cm/anno , con picchi superiori a 1 cm/anno nelle aree maggiormente affette da prelievi di falda a scopi idraulici e/o di prelievi di idrocarburi nella aree immediatamente limitrofe, con conseguenti maggiori fenomeni di subsidenza (ad esempio, a Venezia e Taranto rispettivamente 1.31 e 1.08 cm/anno), mentre la variazione minima, circa 0.15 cm/anno , si osserva nel sito di Otranto (Tab. 1).

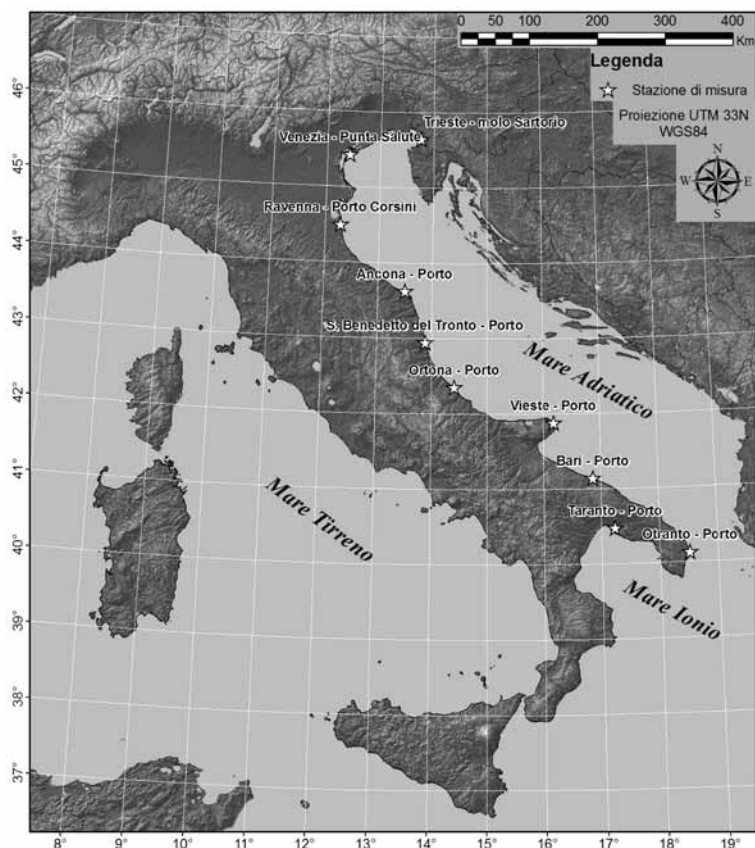


Figura 3. Carta dalla distribuzione delle stazioni mareografiche considerate.

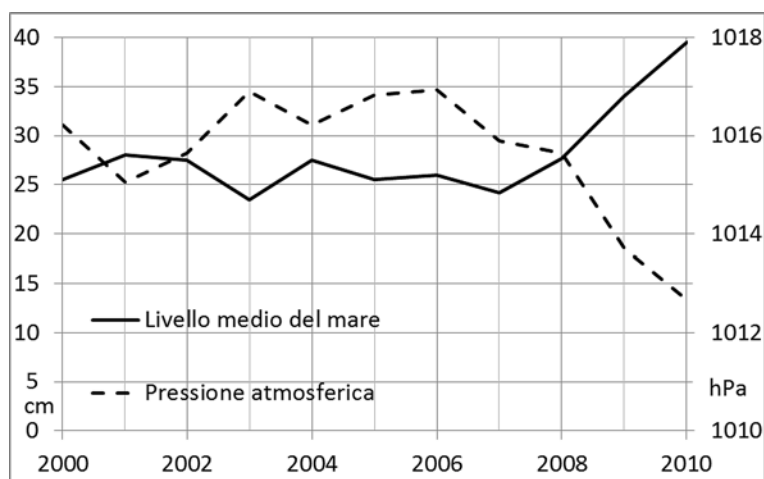


Figura 4. Andamento del livello medio del mare e della pressione atmosferica dal 2000 al 2010 nel Mediterraneo settentrionale.

Anno	Ancona	Bari	Ortona	Otranto	Ravenna	Taranto	Trieste	Venezia	Vieste	S.B.d.T.	Media
2000	-0.06	-0.21	-0.10	-0.11	0.04	-0.29			-0.17	n.d.	-0.13
2001	-0.01	-0.17	-0.07	-0.23	0.07	-0.23	0.11	0.14	-0.12	n.d.	-0.06
2002	-0.03	-0.18	-0.08	-0.26	0.05	-0.28	0.13	0.06	-0.14	n.d.	-0.08
2003	-0.06	-0.22	-0.10	-0.24	0.02	-0.28	0.09	0.03	-0.16	n.d.	-0.10
2004	-0.03	-0.17	-0.07	-0.20	0.06	-0.27	0.11	0.10	-0.02	n.d.	-0.06
2005	-0.12	-0.19	-0.09	-0.26	0.03	-0.28	0.04	0.11	-0.13	n.d.	-0.10
2006	-0.05	-0.19	-0.09	-0.25	0.04	-0.27	0.03	0.11	-0.13	n.d.	-0.09
2007	-0.07	-0.18	-0.10	-0.26	0.03	-0.25	0.05	0.10	-0.14	n.d.	-0.09
2008	-0.11	-0.11	-0.08	-0.26	0.07	-0.23	0.06	0.13	-0.11	n.d.	-0.07
2009	0.00	-0.11	-0.01	-0.20	0.14	-0.14	0.08	0.19	-0.07	n.d.	-0.01
2010	0.09	-0.06	0.05	-0.15	0.21	-0.11	0.11	0.27	-0.02	0.11	0.05
2011	0.00	-0.12	-0.01	-0.18	0.11	-0.18	0.00	0.17	-0.08	0.00	-0.03
2012	-0.02	-0.13	-0.03	-0.21	0.10	-0.16	-0.02	0.16	-0.09	-0.02	-0.04
2013	0.05	-0.09	0.03	-0.20	0.14	-0.16	0.05	0.20	-0.04	0.06	0.00
2014	0.05	-0.05	0.06	-0.17	0.12	-0.13	0.11	0.28	-0.02	0.08	0.03
2015	0.01	-0.12	-0.02	-0.21	0.04	-0.17	0.00	0.19	-0.07	-0.19	-0.05
cm/Anno	0.64	0.87	0.89	0.15	0.58	1.08	0.56	1.31	0.71		0.75

Tabella 1 – Altezza media annua del livello medio mare e trend medi relativi nelle stazioni di misura analizzate per il periodo 2000-2015. La stazione di San Benedetto del Tronto ha iniziato a funzionare solo nel 2010. Dati ISPRA.

Tuttavia, da una più accurata analisi del dato relativo alle oscillazioni dei valori medi annui nelle varie stazioni di misura (Tab. 1, Fig. 5), in particolare per la stazione di San Benedetto del Tronto, si osserva che nell'ultimo quinquennio sono aumentate notevolmente le variabilità inter-annuali dei LMM ma soprattutto si assiste ad una decisa controtendenza del segnale (Fig. 6), con un evidente calo dei valori, mediamente quantificabili in circa 1.8 cm/anno relativamente alle stazioni di misura di Ancona, San Benedetto, Ortona e Vieste, pur permanendo un innalzamento medio di circa 7.4 mm/anno.

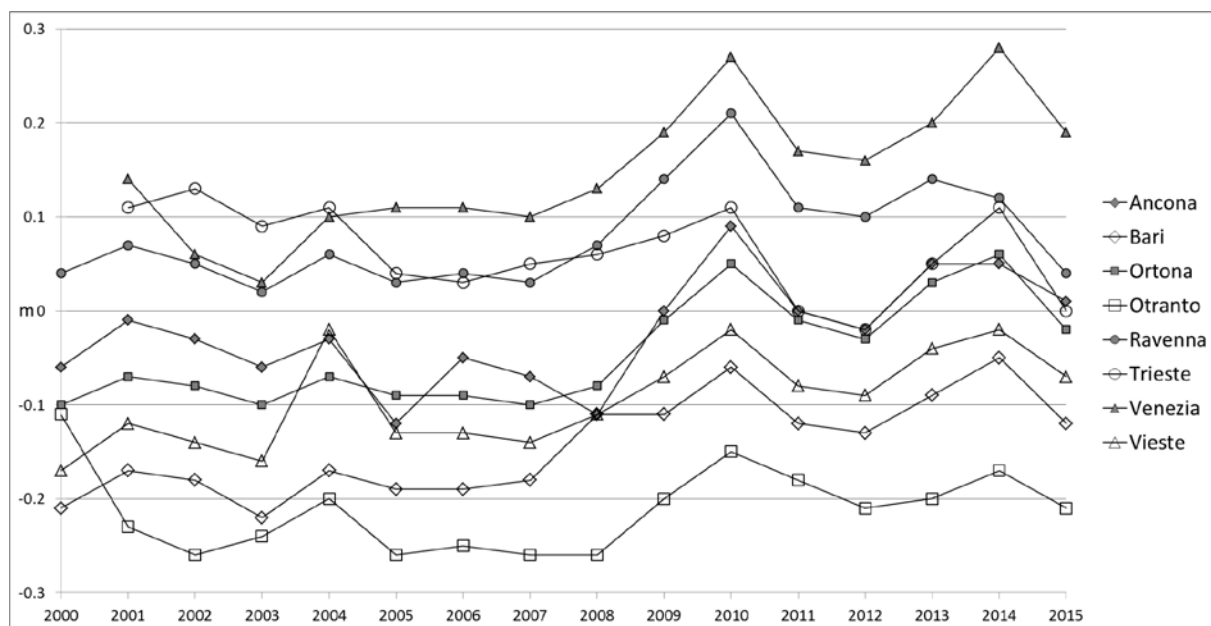


Figura 5. Variazioni del livello medio annuale del mare dal 2000 al 2015 nelle stazioni di misura esaminate (sono escluse San Benedetto del Tronto (periodo di osservazione troppo breve) e Taranto (esterna al bacino Adriatico)).

Se si cerca una relazione tra tale segnale ed il valore medio annuale della NAO secondo Jones, si osserva che nell'ultimo quinquennio le sempre più comuni configurazioni bariche che determinano valori positivi di NAO hanno subito un evidente aumento medio dell'intensità. Sembrerebbe altresì confermata la relazione prima evidenziata tra variazioni bariche e variazioni del LMM alla scala del bacino mediterraneo.

Relativamente alle situazioni sinottiche che determinano sul bacino adriatico gli eventi di mareggiata più intensi (oltre che significative condizioni di "acqua alta" sulla laguna di Venezia), risulta evidente una condizione media a livello di bacino che può essere ben rappresentata dalla situazione-tipo del 10-12 novembre 2013, che ha apportato dapprima condizioni di "acqua alta" eccezionale sull'alto Adriatico e mareggiate particolarmente intense e distruttive sui litorali tra il Ravennate e l'Abruzzo citeriore. A tal proposito, per caratterizzare dettagliatamente l'evento, si sono analizzati i dati relativi al mareografo di San. Benedetto del Tronto.

L'evento di mareggiata avente un eccezionale estensione spaziale è stato provocato da una bassa pressione chiusa di natura dinamica e complessivamente barotropica, derivante in quota da un *cut off* dal fronte polare, peraltro successivamente privo di ondulazioni meridiane degne di nota.

Durante la giornata dell'undici novembre, essa ha teso ad approfondirsi ulteriormente, centrandosi sul basso Tirreno, con valori barici al suolo di circa 1000 hPa e altezza del geopotenziale 500 hPa inferiore ai 5500 m. La struttura barica non ha mostrato, durante le dodici-diciotto ore successive, apprezzabili cenni di movimento verso levante (Fig. 7). Al suolo si osserva un forte gradiente di pressione tra questa struttura ciclonica e un ponte di alta pressione esteso dal vicino Atlantico portoghese sino alla Bielorussia (accenno di Ponte di Weikoff).

L'evoluzione alla scala di bacino mediterraneo mostra come una linea di instabilità collegata al centro depressionario nella tarda serata del giorno 10 sia transitata nell'area oggetto dello studio. I valori di pressione al suolo hanno raggiunto il minimo (circa 996 hPa; Fig. 8); contemporaneamente, si è avuta una prima rotazione del vento da scirocco a maestrale (Fig. 9). Il centro depressionario ha poi iniziato a migrare lentamente verso sud-sudovest; già nelle prime ore del giorno 11, la depressione al suolo si è spostata con moto parzialmente retroattivo, andando a centrarsi sul basso Tirreno (Fig. 7).

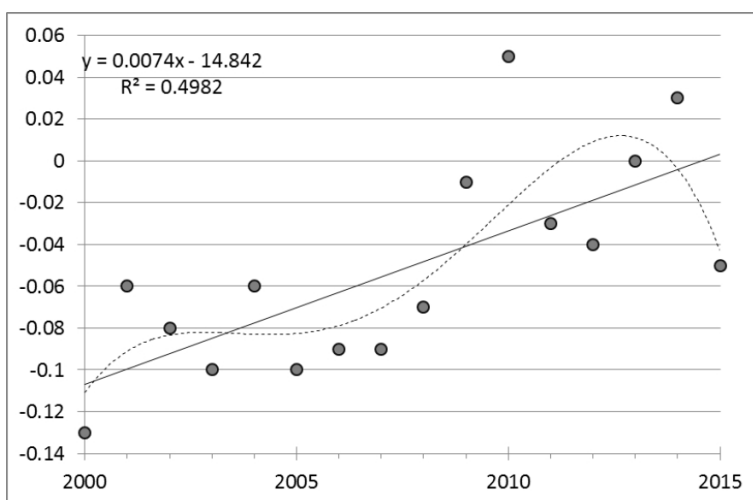


Figura 6. Andamento del livello medio mare annuale in metri (media delle stazioni in Tab. 1) rispetto allo zero idrometrico, con regressione lineare (R^2 circa 0.5) e polinomiale di 3° ordine.

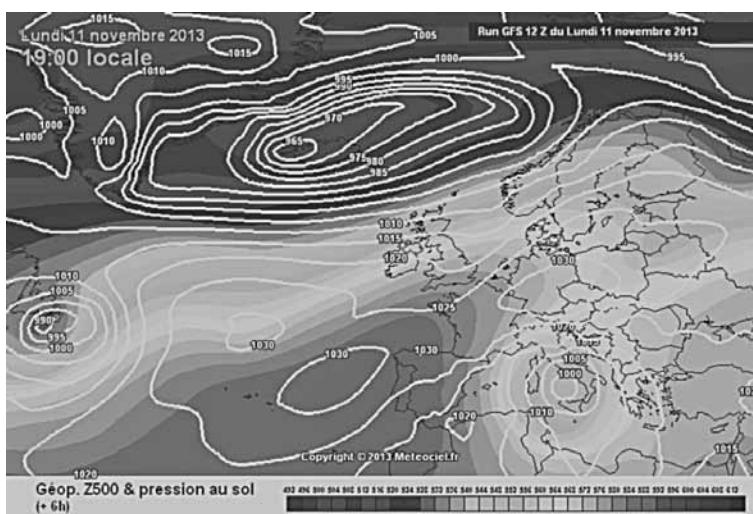


Figura 7. Andamento del geopotenziale 500 hPa e della pressione atmosferica al suolo nel pomeriggio dell'11 novembre 2013. Da www.meteociel.fr.

Ciò ha causato una seconda rotazione dei venti da Maestrale a Tramontana e, di seguito, a Bora (direzione media di provenienza 48°); essi hanno avuto la tendenza a intensificarsi rapidamente, raggiungendo alle ore 7 del mattino una velocità media di circa 14 m/sec (circa 50 km/h, Fig. 9). Il quadro anemometrico si è poi stabilizzato tanto in direzione di provenienza quanto in intensità, favorendo un rapido incremento della pressione atmosferica (Fig. 8).

Tali condizioni, unite alla notevole estensione dell'area di *fetch* efficace (l'intera porzione centro-orientale del bacino adriatico settentrionale), hanno favorito un forte e repentino innalzamento del LMM, quantificato, dalle 6:30 alle 9:30 AM, in circa 60 cm, passando da valori di 0.37 m. a 0.97 m. Nel corso della giornata, i livelli hanno poi subito variazioni moderate, risentendo anche delle forze di marea e mostrando un lieve decremento nelle ore pomeridiane per tornare a crescere in serata sino a toccare il picco massimo di 1.04 metri appena dopo le 22 (Fig. 8).

Successivamente al raggiungimento di tale picco, si è osservato un repentino calo dei valori, favorito da una graduale attenuazione della velocità del vento e dalla sua rotazione da levante (Fig. 9), derivanti dalla ripresa dello spostamento della depressione verso oriente. Fin dalle prime ore del giorno 12, l'evento meteomarinico principale era da considerarsi terminato.

Conclusioni

Evidentemente, una comprensione più approfondita e completa delle cause che comportano continue variazioni del LMM sulle coste adriatiche italiane non può basarsi esclusivamente sull'identificazione e la successiva analisi delle situazioni sinottiche che apportano *storm surge* di elevata magnitudine. A tal proposito sarebbe auspicabile raffrontare i dati già analizzati non solo con l'indice NAO ma anche con l'indice AO (*Arctic oscillation*) ed eventualmente creare un nuovo indice troposferico che possa essere magari utilizzato anche come strumento di previsione di future situazioni bariche foriere di forti eventi di *storm surge* sul bacino adriatico. Occorrerà poi necessariamente approfondire l'analisi dell'evoluzione termometrica del sistema complesso mare – atmosfera, del quale nel presente lavoro si sono solo accennati i risultati dello studio del trend quindicennale, così da potere tentare una quantificazione percentuale dell'effetto sterico, probabilmente più significativo in un bacino marittimo chiuso e mediamente poco profondo come quello Adriatico rispetto ad estesi bacini oceanici e anche all'intero Mar Mediterraneo.

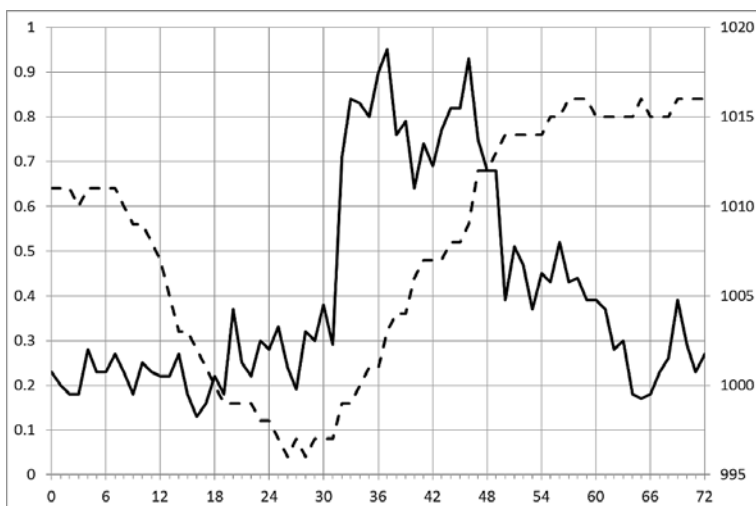


Figura 8. Pressione atmosferica in millibar (linea tratteggiata) e livello del mare in m (linea continua) registrati presso la stazione di S. Benedetto del Tronto nei giorni dal 10 al 12 novembre 2013. Dati ISPRA.

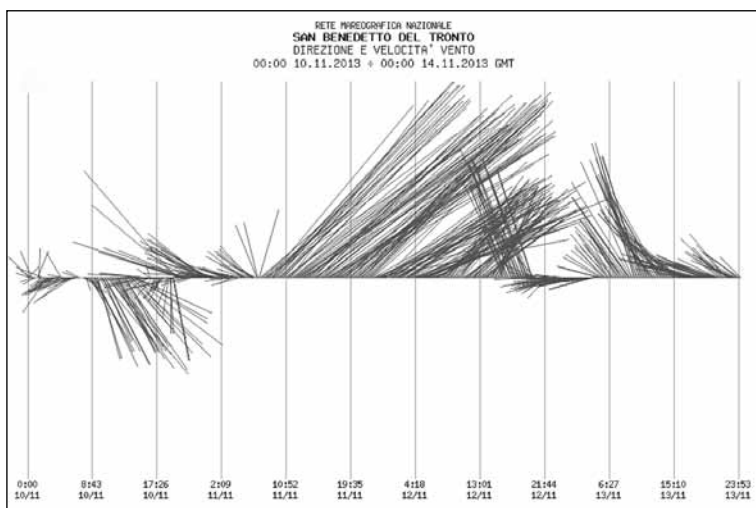


Figura 9. Direzioni e velocità del vento registrate presso la stazione meteo di S. Benedetto del Tronto nei giorni dal 10 al 12 novembre 2013. Da ISPRA, www.mareografico.it.

Sarebbe inoltre auspicabile recuperare e analizzare le intere serie storiche relative a tutte le stazioni di rilevamento ubicate sulle coste adriatiche e balcaniche ma, soprattutto, sarebbe fondamentale implementare il risicato numero di boe ondametrichi attualmente presenti e attive in maniera continua, come peraltro già in fase di progettazione e/o attuazione da parte delle regioni Friuli – Venezia Giulia, Veneto, Emilia Romagna, Marche e Puglia.

Strumentazioni più economiche ma comunque molto utili per calcolare indirettamente le variazioni dei LMM si possono identificare nei pressimetri da fondale ubicati in prossimità della costa. Questi ultimi, quando integrati da profilatori acustici ad effetto Doppler (ADCP), risulterebbero fondamentali anche per l'analisi del clima d'onda locale.

Bibliografia

- Antonoli F., Faivre S., Ferranti L., Monaco C. (2011) - *Tectonic contribution to relative sea level change*. Quat. Int. 232: 1-4.
- Battistin D., Canestrelli P. (2006) - *1872-2004. La serie storica delle maree a Venezia*. Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Venezia, 207 pp.
- Bonaduce L., Pinardi N., Oddo P., Spada G., Larnico G. (2016) - *Sea-level variability in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauges*. Climate Dynamics, 47: 2851–2866.
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., Strozzi T., Tomasin A. (2014) - *Present Relative Sea Level Rise in the Northern Adriatic Coastal Area*. Climate Dynamics, 35: 1039-1047 .
- Church J., Clark P., Cazenave A., Gregory J., Jevrejeva S., Levermann A., Merrifield M., Milne G., Nerem R., Nunn P., Payne A., Pfeffer W., Stammer D., Unnikrishnan A. (2013) - *Sea level change*. In: Stocker T., Qin D., Plattner G., Tignor M., Allen S., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. (Eds) - *Climate change 2013: The Physical Science Basis. -Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1137-1216.
- Ferla M., Cordella M., Michielli L., Rusconi A. (2007) - *Long-term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 75: 214-222.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. A R.K. Pachauri e L.A. Meyer (eds.)). IPCC, Ginevra (CH), 151 pp.
- Cordella M., Crosato F. (2012) – *2010: un anno da ricordare per l'eccezionale crescita del livello medio mare a Venezia e nel nord Adriatico*. ISPRA, Quaderni Ricerca Marina, 4: 18pp.
- Masina M., Lamberti A. (2013) - *Nonstationary analysis for the Northern Adriatic extreme sea levels*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118: 3999–4016.
- Pinardi N., Bonaduce A., Navarra A., Dobricic S., Oddo P. (2014) - *The mean sea level equation and its application to the mediterranean sea*. J. Climate, 27: 442-447.
- Simeoni U., Del Grande C., Gabianelli G. (2003) - *Variazioni ed ipotesi evolutive dell'assetto altimetrico del litorale emiliano-romagnolo*. Studi Costieri, 7: 81-93.
- WMO (2015.) - *Technical Regulations, Vol. I*. WMO, 49; Basic Documents, 2. Geneva, 59 pp.

Ricevuto il 27/11/2016; accettato il 23/01/2017